

승용차 기어 화인 소음 저감법: 기어 제원 최적화 설계

권 영 일

현대 기아 연구개발본부 소음진동팀

A Method of Reducing Gear Whine Noise in Passenger Car Through Optimizing Gear Design

Kown, Young Ill

NVH Team, Research & Development Division for Hyundai Motor Co. & Kia Motor Co.

E-mail: kwonyi12345@hanmail.net

요약

최근 선진 자동차 회사에서는 변속기 개발 단계에서 기어 소음 문제를 해결하고 차량의 소음 품질을 향상시키기 위하여 많은 연구가 수행되고 있다. 그러나, 설계 단계에서 기어 소음을 고려한 기어 제원 결정이 불가능하여, 설계 완료 후 개발 단계에서 기어 소음 문제를 해결하는 것이 매우 어려운 일이었고, 설사 가능하여도 시간적, 성능적인 한계가 있었다. 기어 소음은 크게 Source 와 전달경로의 문제로 나누어 지고, 본 연구는 주로 전자에 중점을 둘 것이며, 기어 화인 소음의 주 요인으로 알려져 있는 기어의 전달 오차를 최소화하는 것이다. 그 방법으로 기어 설계의 선진 핵심 기술인 기어 해석을 통한 기어 화인 소음을 최소화하는 최적 기어 설계 제원 결정이다[1].

1. 서론

지금까지 기어 설계자는 동력 전달 성능 (Gear Ratio, Torque, Speed), 내구성(Durability)에 중점을 두어 기어를 설계해 왔다. 그러나, 최근 차량의 품질을 좌우하는 기준으로 인간 감성의 충족 문제에 관심이 모아지면서, 특히 소음 문제의 해결에 세계 자동차 제작사들이 주목하고 있다. 우리의 관심인 기어 또한 많은 세월 동안

자동차 엔지니어 및 기어 학자들에 의해 소음 저감 방법에 대해 연구가 진행 되어져 왔고, 현재에도 계속되고 있다. 기어 화인 소음을 고려한 최적 기어 제원을 결정하기 위해서는, 우선 소음 수준을 수치적으로 표시 가능하여야 하며, 여러 연구 결과로부터 증명되고 기어 가진 이론에 배경을 둔 전달오차가 사용되었다[2-4].

2. 기어소음 최적화 설계 방법

2.1 용어 정의

기어의 전달오차는 “부하를 받고 회전하고 있는 종동 기어의 실제 위치와 이론적 위치 즉, 기어가 완벽하게 맞물리고, True Involute 치형을 가지며, 재질이 완벽히 Rigid 하다고 가정하였을 때 위치의 차이”로 정의할 수 있다[5].

2.2 기어 제원 최적화 설계 방법

기어 소음 성능을 최적화하기 위한 설계 방법은 전체적으로 아래 그림 1 과 같다. 먼저 중심거리, 기어비, 잇수, 비틀림각, 압력각, 치폭 등 기어 설계 Parameter 들의 범위와 레벨을 입력하여, 이들 Parameter 들의 조합으로 생성 가능한 모든 설계 후보 (Candidate Design) 기어들의 제원을 생성하여 저장한다. 그리고, 이 모든 기어들에 대하여 해석을 수행하여 전달오차, 굽힘응력 등을

계산하고, 이때, 허용 굽힘응력, 허용 접촉응력, 수명 등의 조건을 미리 입력하여 그 조건을 만족하는 설계 후보 제원들만 저장한다. 다음으로, 이들 지원들에 대하여 해석 수행 결과로 얻어진 해석 결과들을 정렬하여 전달 오차가 적고, 두 기어의 강도가 비슷하며, 굽힘응력 값이 적은 조건들을 고루 만족하는 제원들을 다수개 선택한다. 최종적으로 Robustness 해석을 통해 생산 편차에 영향을 덜 받고, 해석 결과의 평균값이 우수한 제원 하나를 최종 선택한다.

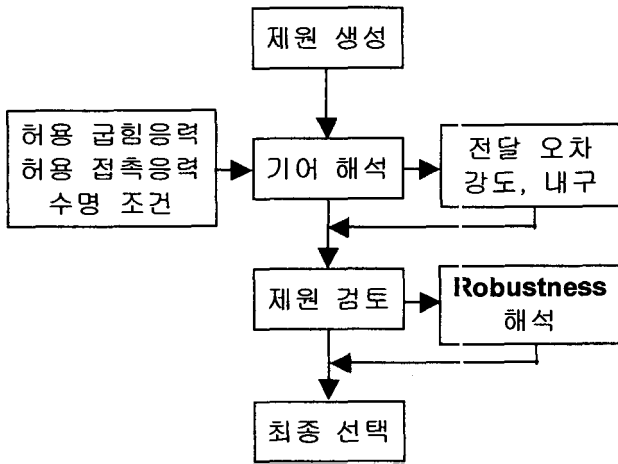


그림 1. 기어 소음 최적화 설계 방법

2.3 설계 예

본 연구에서는 위의 방법을 이용하여 소형 자동변속기 트랜스퍼 기어 한 쌍을 예로 들어 기어 소음 성능을 최적화 한 기어를 새로 설계 하였다. 먼저 제원 생성을 위한 기어 Parameter 들의 범위는 다음 표 1 과 같다. 레벨의 선정은 설계자가 경험과 설계 의도에 따라 결정한다. 만약 비틀림각의 경우 설계자가 표 1 과 같이 최소, 최대값으로 결정한다. 이와 같이 설정된 Parameter 들의 범위와 사용자가 입력한 레벨에 따라 생성 가능한 총 설계 제원수가 산출된다. 여기서 예를 든 기어에서는 약 54,000 개의 제원이 생성되었다.

설계자는 앞서 생성된 설계 제원들을 각각 해석을 수행하여 전달오차, 굽힘응력, 접촉응력 등을 계산한다. 물론, 이때, 위의 강도 조건을 만족하지 못하는 제원들은 제외시킨다. 설계자는 소음 및 강도 측면 등을 고려한 최적 기어를 선택하기 위해 여기서 계산된 기어들의 해석 결과들을 정렬하고, 다양한 그래프를 그려서 경향을 분석할 수 있다. 먼저 기어 소음에 영향을 미치는 전달오차와 Face Contact Ratio 결과들이 각각 전체의 상

위 5% (약 2500 개) 정도인 제원들을 선택하면 그림 2 와 같이 전체 후보 제원 중 약 0.8% (약 400 개) 만이 두 조건 모두 우수한 결과를 보이는 것을 알 수 있다 (선택 부분).

설계 Parameter	최소	값	최대
중심거리(mm)		XXXX	
중심거리 공차(%)		XXXX	
기어비		XXXX	
기어비 공차(%)		XXXX	
피니언 잇수	XXXX		XXXX
비틀림각(deg)	XXXX		XXXX
압력각(deg)	XXXX		XXXX
치폭(mm)	XXXX		XXXX

표 1 제원 생성을 위한 Parameter 들 범위

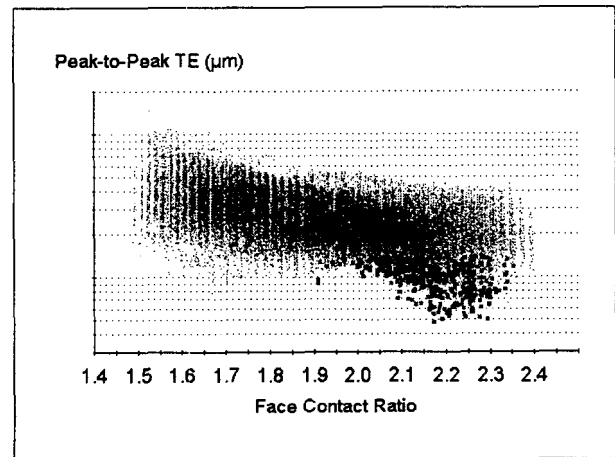


그림 2. Face Contact Ratio 와 전달오차 사이의 관계

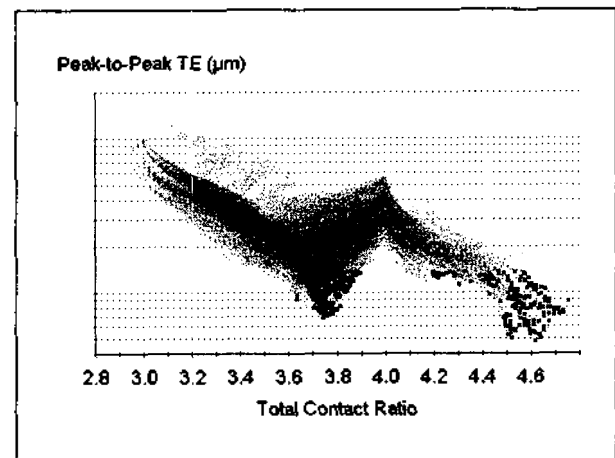


그림 3. Total Contact Ratio 와 전달오차 사이의 관계
물림율은 기어 소음에 영향을 주는 주요 인자로서, 자동차 변속기용 기어는 주로 헬리컬 기어 (Helical Gear) 이므로, 물림율은 Profile Contact Ratio 와 Face

Contact Ratio 의 함으로 얻어진다. 보통 Face Contact Ratio 가 정수 일 때 전달오차가 최소가 된다고 알려져 있다. 그러나 이러한 이론이 완벽한 인플루트 치형을 갖는 경우 사실이지만, 그림 2 를 보면 Face Contact Ratio 가 2.2~2.3 부근에서 최소값을 가짐을 확인 할 수 있다. Total Contact Ratio 의 전달오차에의 영향을 살펴보았을 때에는(그림 3) 3.7~3.8 구간과 4.5~4.8 구간에서 가장 낮은 전달오차 값을 보이고 있다.

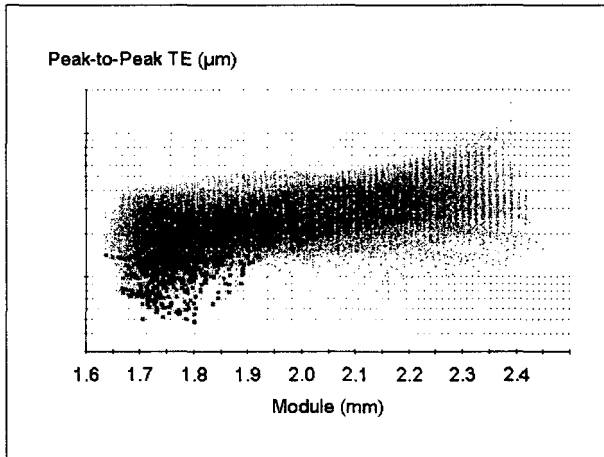


그림 4. 모듈율이 전달오차에 미치는 영향

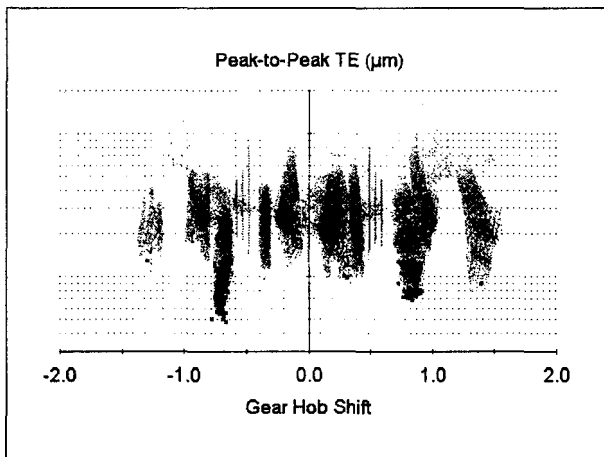


그림 5. 전위량이 전달오차에 미치는 영향

결과적으로, 물림율과 기어 소음과의 관계를 고려해 볼 때, 기어 소음의 원인이 되는 전달오차의 전체적인 경향은 물림율이 높을 수록 낮은 값을 나타내고 있다.

따라서, 전통적으로 기어 소음 저감을 위해 물림율을 높이는 방법이 옳은 방법임을 알 수 있다.

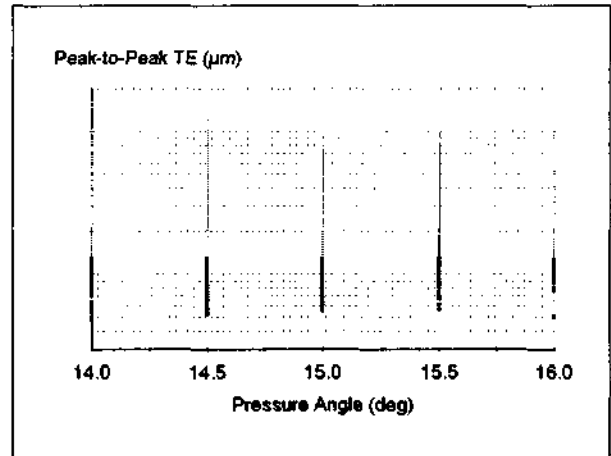


그림 6 압력각이 전달오차에 미치는 영향

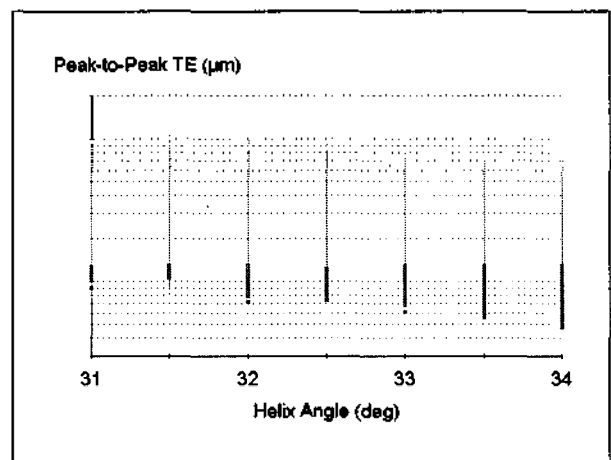


그림 7. 비틀림각이 전달오차에 미치는 영향

그러나, 이들 그래프를 참조해 보면, 물림율을 높다고 해서 모든 기어들이 낮은 전달오차 값을 갖는다고 말할 수 없음을 알 수 있고, 결과적으로 무조건 물림율을 높인다고 해서 반드시 기어 소음이 감소 된다고 할 수도 없음을 알 수 있다.

일반적으로 기어 소음 저감을 위해서는 모듈율 (Module)을 작게하는 방법, 전위량을 높여 고치화 설계 방법, 압력각을 줄이는 방법, 비틀림각을 높이는 방법 등이 지금까지 주장되어 왔다. 이러한 주장들의 타당성을 아래 그림 4 ~ 7 에서 확인해 볼 수 있다. 모듈율은 확실히 낮을수록 낮은 전달오차 값을 보이고 있다(그림 4). 전위량을 높이는 방법은 - 0.7 부근과 0.8 부근 값에서 최소 전달오차 값을 보이고 있다(그림 5). 비틀림각은 높을 수록(그림 6) 압력각은 낮을수록(그림 6) 전달오차 값이 낮아지는 경향을 보이고 있다.

이제 설계자는 앞서의 조건들을 가장 잘 만족하는 제원을 선택하였다. 이때, 사용자는 해석 결과들의 범위를

다른 기어들의 해석 경험에 의한 적정 Criterion 을 기준으로 강도나 수명 등 기어의 기본 조건이 문제가 없다면 전달오차가 가장 작은 제원을 선택한다.

기어 선택의 마지막 단계로서, 최종 1 개의 제원을 결정하기 위해 Robustness 해석을 수행한다. 종합적으로 볼 때, 최종 선정된 최적의 기어는 전달오차가 낮은 값을 가지고, 낮은 강도 값 그리고, 맞물리는 기어의 강도가 비슷한 제원임을 알 수 있다.

3.4 최종 제원 검증

치형 수정량까지 결정된 기어에 대하여 앞에서 증명했던 해석 결과를 기존 사양과 비교해 보는 것은 흥미로운 일이다. 앞에서 제시한 예에 비추어 본 연구에서 제시한 방법에 의해 설계된 기어가 얼마나 낮은 전달오차 값을 갖는가를 관찰함으로써, 시험 결과를 예측하는 것이 가능하다. 아래 그림 8 은 해석을 이용하여 해석한 결과를 나타내고 있다. 예상한 대로, 전달오차가 기존 사양에 비해 현저히 낮은 경향을 보이고 있다.

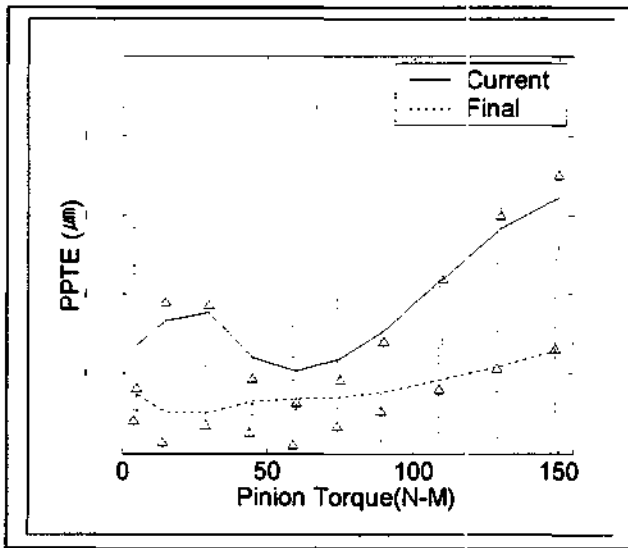


그림 8 현재 사양과 최종 설계 사양의 전달오차 해석 결과

4. 결 론

본 연구를 통하여 자동차 변속기용 기어 개발에 관하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 기어를 해석을 이용하여 실험적 방법으로만 확인이 가능했던 기어 소음 성능을 간단한 해석으로 수치화가 가능해졌다.

(2) 해석 기법을 Core Module 로 하여 개발된 기어 설계 Program 을 이용하여 기어를 설계하는 것이 가능하므로, 기어 소음 측면에서 양호한 성능을 가진 기어 설계가 가능함을 확인 하였다.

(3) 본 연구에서 제시한 방법을 변속기 설계 단계 즉, 기어 설계 단계에 적용한다면 현재와 같이 치형 수정을 위해 수 많은 기어를 가공하여 그 수준을 파악하고, 그에 따른 개발 기간을 상당 부분 개선이 가능하다.

(4) 이러한 기어 설계 방법에 의해 설계된 기어는 앞서의 해석 결과에 비추어 대상 시험 및 실차 시험에서도 기어 소음 측면에서 우수한 성능을 보일 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. Houser, D., Harianto, J., "Design Robustness and its effect on Transmission Error and other Design Parameters", ICMT'2001.
2. Houser, D., Dudley's Gear Handbook, D. Townsend, Ed. "Gear Noise", Chapter 14, McGraw Hill, 1992.
3. Niemann, G. and Baethge, J., "Errors in Action, Tooth Flexibility, and Noise of Spur Gearing," VDI J., Vol. 112, No. 4, 1970, pp. 204-214, No. 8, pp. 495-499.
4. Kubo, A., Nonaka, T., Kato, N., Shogo, S. and Ohmori, T., "Representative Form Accuracy of Gear Tooth Flanks on the Prediction of Vibration and Noise of Power Transmission," AGMA Paper 92FTM9, 1992.
5. Munro, R.G., Yildirim, N., Hall, D.M., "Optimum Profile Relief and Transmission Error in Spur Gears," ImechE Conference on Gearbox Noise and Vibration, 1990, Paper C404/032, 35-41